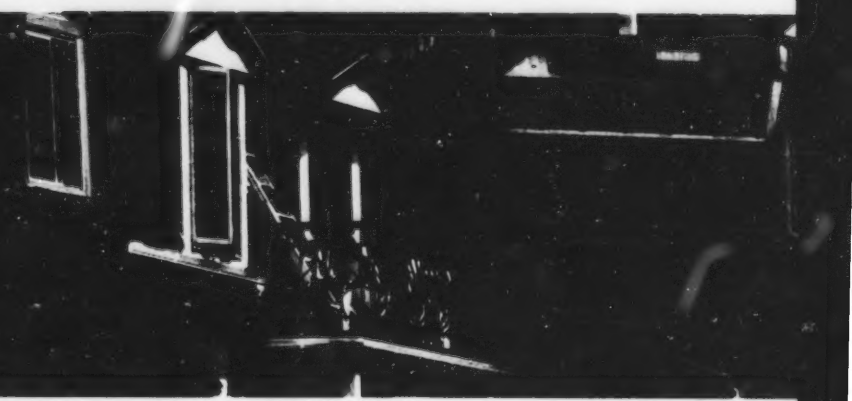
RESEARCH REPORT

WIND-DRIVEN RAIN STUDY FOR THE GOVERNOR'S ROAD PROJECT

DUNDAS, ONTARIO

HOUSING TECHNOLOGY SERIES



CMHC SCHL

HOME TO CANADIANS

Canada

CMHC—Home to Canadians

Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) is home to Canadians. In everything we do, we help Canadians live in safe, secure homes. As the Government of Canada's national housing agency, we play a major role in Canada's housing industry. CMHC develops new ways to finance home purchases. We encourage innovation in housing design and technology. Our mortgage loan insurance helps Canadians realize their dream of owning a home.

Canadians benefit from our work with public, private and not-for-profit partners to improve the quality, accessibility and affordability of housing everywhere in Canada.

CMHC assistance helps low-income and older Canadians, people with disabilities and Aboriginals live in decent, affordable homes. We create jobs for Canadians with products and services that help the housing industry export its knowledge and skills to other countries.

CMHC's leading-edge research improves the quality and affordability of housing. To help Canadians benefit from our housing expertise and make informed decisions, CMHC has become Canada's largest publisher of housing information. We also have Canada's most comprehensive selection of information about homes and housing.

Canadians can easily access our information through retail outlets and CMHC's regional offices.
You can also reach us by phone at
1 800 668-2642 (outside Canada, (613) 748-2003)
by fax at (613) 748-4069
To reach us online, visit our home page at www.cmhc-schl.gc.ca

Canada Mortgage and Housing Corporation supports the Government of Canada policy on access to information for people with disabilities. If you wish to obtain this publication in alternative formats, call 1 800 668-2642.

101-00378/

Wind-driven Rain Study for the Governor's Road Project

Dundas, Ontario

Prepared by:

H. Hangan
and
D. Surry

Prepared for:

Canada Mortgage and Housing Corporation

CMHC offers a wide range of housing-related information. For details, call 1 800 668-2642 or visit our Web site at www.cmhc-schl.gc.ca

This research project was funded by Canada Mortgage and Housing Corporation ("CMHC"). The contents, views and editorial quality of this report are the responsibility of the author(s) and CMHC accepts no responsibility for them or any consequences arising from the reader's use of the information, materials and techniques described herein.

Canadian Cataloguing in Publication Data

Hangan, H. (Horia), 1960-

Wind-driven Rain Study for the Governor's Road Project
Dundas, Ontario

Issued also in French under title: Étude de la pluie poussée par le vent portant sur l'ensemble résidentiel de Governor's Road, Dundas (Ontario)

Includes bibliographical references

ISBN 0-660-18096-0
Cat. no. NH15-352/2000E

1. Weathering of buildings – Ontario – Dundas.
2. Buildings – Protection – Ontario – Dundas.
I. Surry, D.
II. Canada Mortgage and Housing Corporation.
III. Title.

TH9039.H36 2000 690'.24 C00-980092-1

© 2000 Canada Mortgage and Housing Corporation. All rights reserved. No portion of this book may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, mechanical, electronic, photocopying, recording or otherwise without the prior written permission of Canada Mortgage and Housing Corporation. Without limiting the generality of the foregoing no portion of this book may be translated from English into any other language without the prior written permission of Canada Mortgage and Housing Corporation.

Printed in Canada
Produced by CMHC

ACKNOWLEDGEMENTS

This study of wind effects for the Governor's Road Project was initiated by Ms. Sandra Marshall of Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) in conjunction with professors D. Surry and H. Hangan of this laboratory. The cooperation and continued interest of Mr. G. Sather from McCallum & Sather Architects Inc. have been greatly appreciated.

The contributions by Mr. Brian Van Bussel, who constructed the AutoCAD model, are also acknowledged.

TABLE OF CONTENTS & TABLES

SUMMARY AND MAIN FINDINGS 1

DETAILS OF THE STUDY 2

1. THE WIND–RAIN CLIMATE FOR HAMILTON 3

2. GEOMETRY, TOPOLOGY AND MESH GENERATION 4

3. BOUNDARY CONDITIONS 5

4. MODELLING OF WIND AND RAIN 6

Overall Approach 6

Wind Flow Around Buildings 6

Wind-driven Rain 6

5. THE ESTIMATION OF WETTING ON THE BUILDING FAÇADE 7

Overall Approach 7

Wetting Patterns Without Cornice 7

Cornice Effectiveness 7

REFERENCES 8

Table 1: Rainfall rates (R_J) and local intensity factors (LIF) with and without cornice 9

LIST OF FIGURES

FIGURE 1a: 3D AUTOCAD MODEL 2

FIGURE 2a: WIND–RAIN ROSES FOR ALL HOURS AND RAINY HOURS, LONDON 3

FIGURE 2b: WIND–RAIN ROSES FOR ALL HOURS AND RAINY HOURS, OTTAWA 3

FIGURE 1b: CFD TOPOLOGY AND WALL ZONES 4

FIGURE 1c: DETAIL OF THE UNSTRUCTURED GRID FOR THE CORNICE ADJACENT ZONES 5

FIGURE 2c: CLOSE-UP VIEW OF THE BUILDING UNDER CONSTRUCTION ... 10

FIGURE 3: LOCAL INTENSITY FACTORS (LIF) FOR BUILDING ZONES WITHOUT CORNICE 11

FIGURE 4: CORNICE EFFECTIVENESS FACTORS 11

FIGURE 5: DETAIL OF THE WIND FLOW (ARROWS) AND TYPICAL RAINDROP TRAJECTORIES (CONTINUOUS LINES) 12

SUMMARY AND MAIN FINDINGS

This report on the study of wind-driven rain action on the Governor's Road Project in Hamilton, Ontario provides the following information:

- wetting patterns for the Governor's Road Project building without cornice protection;
- wetting patterns for the Governor's Road Project building with cornice protection; and
- a cornice effectiveness evaluation.

A three-dimensional numerical model of the project building geometry, and the wind and rain conditions were designed using commercial computational fluid dynamics software, FLUENT 4.3 (Users Guide, 1996). The building model was numerically tested in atmospheric turbulent boundary layer flow conditions for one dominant wind direction. Figure 1a shows the three-dimensional, AutoCAD-generated model geometry.

A design probability distribution of gradient wind speed and direction and rainfall intensity had been previously developed for two sites in Ontario (Ottawa and London) on the basis of full-scale meteorological records from these areas. These data have been used to infer the dominant wind direction and intensity as well as rainfall conditions at the site of the Governor's Road Project. The wind flow field around the building has been numerically simulated (computational fluid dynamics or CFD) and followed by the calculation of raindrop trajectories and their impact with the building façade. The rain flow impacting the building envelope has been determined for different zones of the main façade and wetting patterns have been determined for two situations: a building without cornice protection and a building with cornice protection. The wetting results for the two situations have been compared and the cornice effectiveness has been assessed.

The highlights and main findings of this study are as follows.

Wind climate

- The directional characteristics associated with the wind and rain climate model are shown in figures 2a and 2b for the Ottawa and London locations, respectively. It can be seen that southerly and easterly directions are the most important with respect to wind-driven rain conditions. The southerly direction is perpendicular to the main façade of the Governor's Road project building and, therefore, has been considered as the main case study.

- Based on the same wind–rain characteristics for Ottawa and London, the 10-year return period conditions at the Governor's Road Project site were approximately determined as an hourly 10 m height wind speed of 10.4 m/s together with a rainfall intensity of 11 mm/hour.

Wetting patterns

- Wetting patterns on the building façade have been predicted and are expressed as local intensity factors:

$$LIF_j = \frac{Ri}{Ro} = \frac{\text{rainfall rate [mm/hr] through a facade zone "j"}}{\text{undisturbed rainfall rate [mm/hr]}}$$

Figure 3 presents the local intensity factors (LIFs) without cornice protection.

- The two cases (with and without cornice) are compared in Figure 4 in which the cornice effectiveness factors (Fj) are defined as:

$$F_j = \frac{LIFj\ (without\ cornice)}{\text{LIFj (with cornice)}}$$

- A summary of the predicted wetting patterns with and without cornice is shown in Table 1.

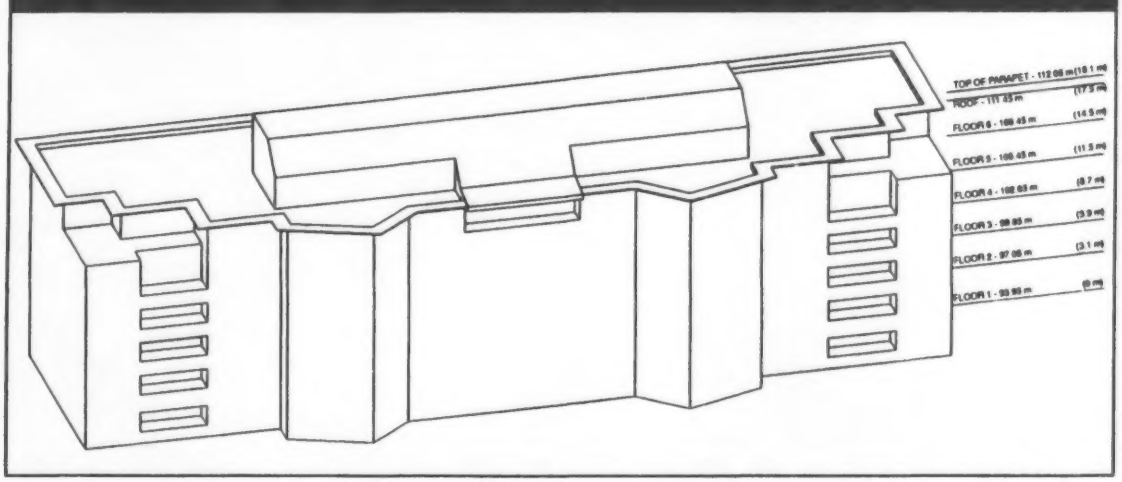
DETAILS OF THE STUDY

Project Name:	The Governor's Road Project
Project Location:	Hamilton, Ontario, Canada
Project Dimensions:	The project consists of a low rise, symmetrical building.
Simulation Dates:	February 1998
Preliminary Reporting:	March 5, 1998
Report Scope and Format:	The results presented in this report rely on parallel studies of:

- the full-scale wind climate in order to determine the strength and directionality of the wind and the undisturbed rainfall intensity; and
- computational fluid dynamics (CFD) simulations to determine the aerodynamic and raindrop trajectories data relevant to this project.

The combination of these two studies provides predictions of rain wetting on the building façade.

Figure 1a
3D AutoCad model



1. THE WIND–RAIN CLIMATE FOR HAMILTON

- The joint wind–rain climate model for the Governor's Road Project site in Hamilton has been inferred from previous studies (Skerlj et al., 1995) for two sites in Ontario: London and Ottawa. (See figures 2a and 2b.)

- The climatic data for the two sites are well correlated and indicate prevalence of the wind/rain from two main directions: south and east. Based on the Governor's Project site orientation, the southerly wind/rain direction, which is perpendicular to the main façade of the building, has been considered relevant and has been employed in the present study.

- Based on the same previous studies (Skerlj et al., 1995) the hourly mean wind speed at 10 m height corresponding to undisturbed rainfall intensity R_O = 11 mm/hour was 10.4 m/s. The wind speed and rainfall intensity correspond to a 10-year return period.

- A suburban exposure has been assumed corresponding to a power law coefficient of $a = 0.22$. A constant wind turbulence intensity has been assumed below 50 m height: I_u= 17% .

Figure 2a
Wind-rain roses for all hours and rainy hours. London

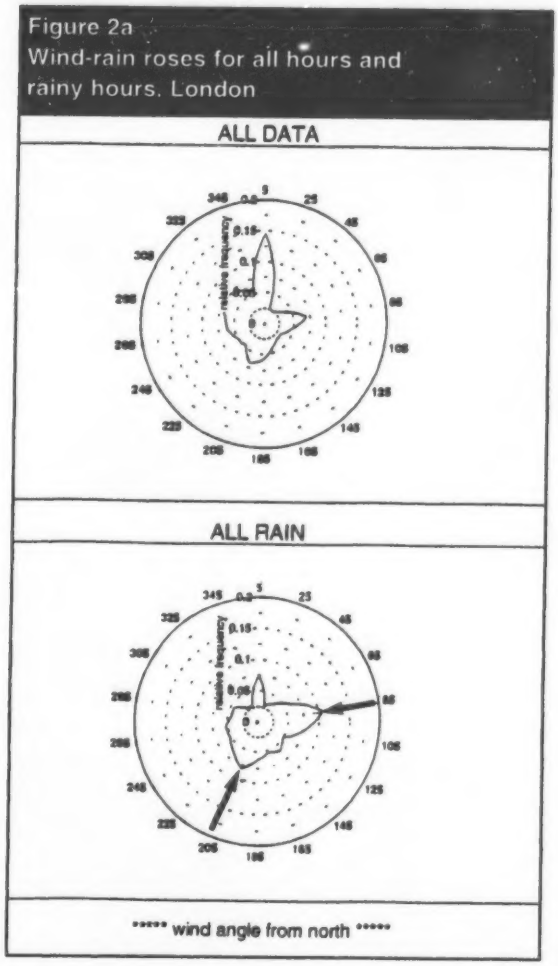
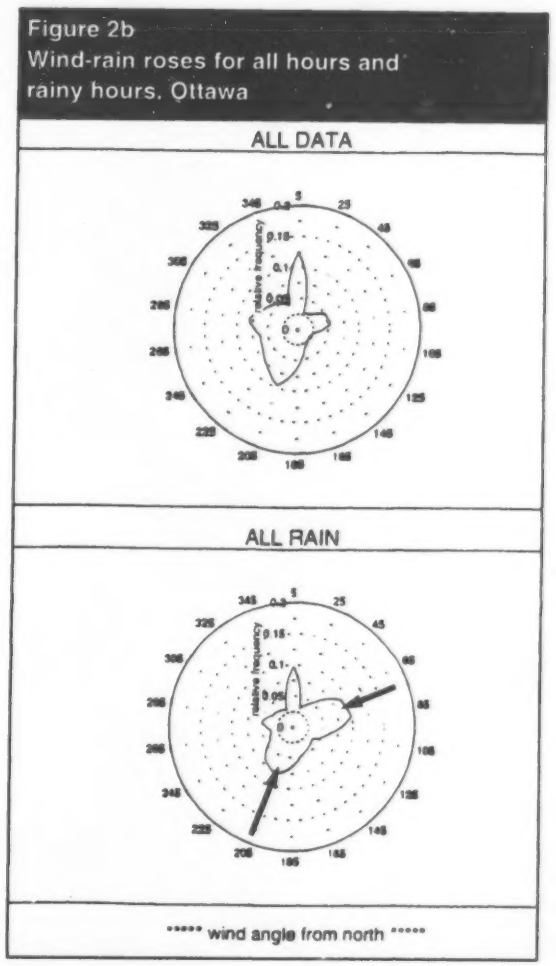


Figure 2b
Wind-rain roses for all hours and rainy hours. Ottawa



2. GEOMETRY, TOPOLOGY AND MESH GENERATION

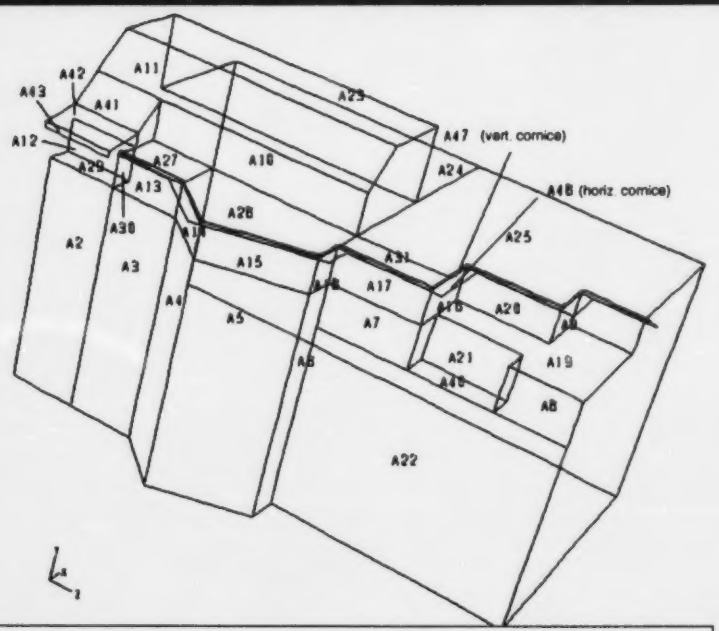
Geometry

- The three-dimensional geometry has been generated in AutoCAD 13 based on architectural drawings. The architectural geometry has been simplified eliminating any architectural details of little aerodynamic significance.
- The AutoCAD-generated, building geometry is shown in Figure 1a.

Topology and Mesh

- The building geometry has been divided in topological surfaces (wall zones). These surfaces are later used to determine the amount of water impacting the building. Each surface (zone) "j" has an area Aj.
- The wall zones are shown in Figure 1b for half the building. As the building presents one symmetry axis, only half the geometry has been employed for the numerical simulations.
- Both the topology and numerical grid generation emphasize the area adjacent to the cornice zone (the upper part of the building façade). The cornice itself is constituted in two main parts: the canopy above the balcony 1 (left-hand side in Figure 1b) and the rest of the cornice all along the building façade.
- An unstructured, tetrahedral grid with approximately 80,000 cells (before refinement) and average skewness of 0.3 has been employed. A detail of the unstructured grid is presented in Figure 1c for the area adjacent to the cornice zone.

Figure 1b
CFD topology and wall zones



Model

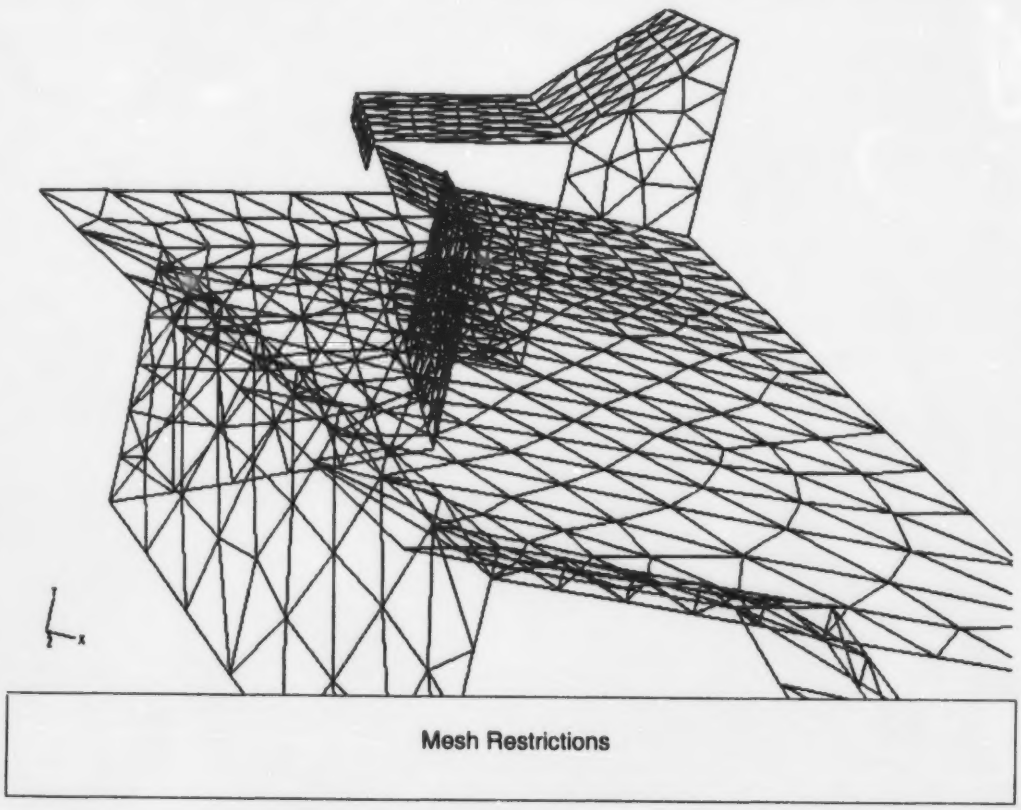
3. BOUNDARY CONDITIONS

- Velocity inlet boundary conditions have been employed as upstream conditions. A power law velocity profile (a = 0.22) with a 10 m height velocity of 10.4 m/s and average turbulence intensity 17% has been adopted based on previous studies (Skerlj et al., 1995) and the Governor's Road Project exposure.

- Wall boundary conditions have been used for the ground and various zones on the building envelope.

- Pressure outlet boundary conditions were used as outflow conditions, and symmetry boundary conditions have been adopted for the building and computational domain symmetry plane, running parallel with the wind direction.

Figure 1c
Detail of the unstructured grid for the cornice adjacent zones



4. MODELLING OF WIND AND RAIN

Overall Approach

- The basis of the computational method is the FLUENT commercial CFD package, to which suitable models of rain are added, based on data existing in the literature. Physical models of wind–rain effects on buildings have been previously developed at the Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory (BLWTL) (Inculet and Surry, 1995; Hangan, 1998), and the wind tunnel experiments form the basis for the verification.

- The modelling problem consists of calculating the raindrop trajectories in the presence of the airflow around the building. This is a Lagrangian approach and implies assumptions such as low-volume fraction of water in air (<10%) and neglect of particle–particle interaction.

Wind Flow Around Buildings

- The flow field is solved using the Navier-Stokes (N-S) and continuity equations:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i u_j) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\nu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \text{ (N-S);}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \text{ (continuity)} \qquad (1)$$

A $k-\varepsilon$ and Reynolds stress turbulence model with wall functions are employed for the Eulerian (fluid phase) flow.

Generally, both experimental and CFD simulations show typical wind flow patterns around buildings such as frontal base vortex, separation, reattachment and vortex shedding. The particles (especially the light ones) have the tendency to follow the streamlines. Figure 5 presents a detail of the wind flow (arrows) and typical raindrop trajectories for the cornice zone of the Governor's Road Project.

Wind-driven Rain

- The raindrops are considered spherical of diameter d and density P_p. Their terminal velocity is expressed based on the equilibrium between gravity and aerodynamic drag (Stokes formula) on the particle (2). The particle size distribution can be expressed by a Gaussian model (3).

$$V_T = \frac{d^2}{18\nu}\left(\frac{P_p - P}{P}\right)g \qquad (2)$$

where P and ν are the air density and kinematic viscosity

$$M_d = \exp\left[-\left(\frac{d}{\bar{d}}\right)^n\right]$$

= the mass fraction of droplets larger than d where: (3)

$\bar{d} = bR_o^p$ is a mean diameter, n is a spread parameter (n = 2.25 for raindrops) and $R_o[\frac{mm}{hr}]$ is the undisturbed rainfall intensity.

Raindrop trajectories are determined based on a force balance (Lagrangian reference) between the aerodynamic drag (F_D) and the gravitational force on the particle (Hangan, 1998).

$$\rho_p \frac{\partial u_p}{\partial t} = F_D(u_i - u_p) + g(\rho_p - \rho) \qquad (4)$$

where u_i and u_p are the air and particle velocities, $F_D = \frac{18\nu\rho}{d_p^2} * \frac{C_D * Re}{24}$ is the aerodynamic drag (Stokes law), $Re = \frac{d\rho}{\nu}\sqrt{\Sigma(u_i - u_p)^2}$ the particle Reynolds number (Lagrangian) and $C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re} + \frac{a_3}{Re^2}$ is the drag coefficient (Morsi-Alexander law).

- The turbulent dispersion of droplets has been taken into consideration for the CFD simulations.

5. THE ESTIMATION OF WETTING ON THE BUILDING FAÇADE

Overall Approach

- The droplets are "trapped" on the building zone. Trajectory calculations are performed for all droplet sizes and then the mass flow rate of particles crossing the façade (ϕ_j) and the rainfall intensity on every zone (of area A_j) are calculated $R_j = \frac{3600 * \phi_j}{A_j}\ [\frac{mm}{hr}]$.

- Local intensity factors (LIFs) are afterward estimated by relating the rainfall intensity on each building zone to the undisturbed rainfall intensity: $LIFj = \frac{Ri}{Ro}$.

- The results are analyzed for the two cases, without cornice and with cornice in terms of local intensity factors (LIF).

Wetting Patterns Without Cornice

- The LIFs indicate that the areas likely to be affected without the cornice (LIF>1, Figure 3) are in the wake of the mechanical penthouse (LIF = 4.3) the frontal and inclined walls of the same mechanical block (LIFs = 1.6 and 1.5 respectively), the balcony 1 back wall (left side, LIF = 1.9) and the upper wall zone (immediate below the cornice, LIF = 1.1).

Cornice Effectiveness

- Cornice effectiveness factors (Fj) have been defined as ratios (for every zone "j") between the LIFs without and with cornice: $Fj = \frac{(LIFj) \text{ without cornice}}{(LIFj) \text{ with cornice.}}$ These factors are useful in determining the effect of the cornice for every zone: for F_j>1 the cornice reduces the rainfall rate on that specific area and for Fj<1 the cornice increases the rainfall rate to that specific area.

- These factors should be reviewed along with the LIF factors, as increases or reductions are most significant where LIF values are large. It has been observed that the cornice has a positive effect (reducing the rainfall rate) for the great majority of the building zones. See Figure 4.

- Reduction factors between 1.1 and 2.5 are expected for the main wall zones. The upper wall zones, immediately below the cornice, are well protected (Fj factors between 1.4 and 4.3). The back wall corresponding to balcony 1 (under the canopy, Fj = 20.4) and the terrace (right hand side, Fj = 30.9) are also well protected by the cornice.

- The only increases in rainfall rates due to the cornice occur for the balcony 2 back wall (right hand side, under the terrace, Fj = 0.5 and Fj = 0.8), the mechanical penthouse roof and the floor of the balcony 1 (under the canopy, Fj = 0.4).

- The corresponding LIF values show that the only zone likely to be affected negatively (LIF>1) by the cornice is the floor of balcony 1 for which LIF = 1.11. However, this value is considered to be acceptable in the context of the overall positive effect of the cornice.

- It is underlined that a 10% increase in the LIF coefficient is not significant and is less than the overall quantitative error embedded in the simulation process as a whole.

REFERENCES

FLUENT Inc. (1996). Users Guide.

Hangan H. (1998). "CFD versus Experiment for Wind-Driven Rain Impact on Buildings." Proceedings of the 12th ASCE Engineering Mechanics Conference, LaJolla, California.

Inculet, D. and D. Surry. (1995). "Simulation of wind-driven rain and wetting patterns on buildings." Final report, BLWTL—CMHC.

Skerlj, P.F., D. Surry and M. Mikitiuk. (1995). "An exploratory study of the climatic relationship between rain and wind." March.

Table 1
Rainfall rates (Rj) and local intensity factors (LIF) with and without cornice

GOV5NEW - With cornice

Ro=13.9 mm/hr, U10=10.35m/s

Rj [mm/hr]	LIFj [-]	Aj [m^2]	Zone Fig.1
2.72	0.19	72.43	A2
2.56	0.18	70.76	A3
2.26	0.16	75.5	A4
2.50	0.18	104.91	A5
5.86	0.42	17.58	A7
10.38	0.74	13.28	A8
2.53	0.18	36.65	A10
15.02	1.07	63.03	A11
1.30	0.09	10.38	A12
3.55	0.25	10.68	A14
5.14	0.37	15.25	A15
2.39	0.17	13.63	A17
0.29	0.02	18.53	A18
1.71	0.12	45.83	A19
0.20	0.01	13.2	A20
7.61	0.54	16.33	A21
3.22	0.23	196.9	A22
5.12	0.37	95.85	A23
45.13	3.23	172.12	A24
13.99	1.00	225.77	A25
1.52	0.11	53.21	A26
0.10	0.01	52.67	A27
15.56	1.11	7.49	A29
0.39	0.03	13.83	A31
5.44	0.39	9.94	A40
13.79	0.99	11.79	A41
11.44	0.82	1.89	A43
0.19	0.01	42.89	A46
1.29	0.09	8.34	A47
1.83	0.13	42.89	A461

GOV5 - Without cornice

Ro=11mm/hr, U10=10.35m/s

Rj [mm/hr]	LIFj [-]	Fj [-]	Obs.
5.15	0.49	2.53	Wall
4.43	0.42	2.31	Wall
3.72	0.36	2.20	Wall
2.74	0.26	1.46	Wall
4.59	0.44	1.05	Cornice wall(low)
10.59	1.01	1.36	Cornice wall(low)
16.49	1.57	8.73	MB front
15.26	1.46	1.36	MB inclined
19.87	1.90	20.42	Balc1 back
11.49	1.10	4.32	Cornice wall
9.0800	0.87	2.36	Cornice wall
2.4500	0.23	1.37	Cornice wall
-	-	-	-
1.1400	0.11	0.89	Terrace
4.73	0.45	30.91	Back Terrace
4.32	0.41	0.76	Balc2 back
2.61	0.25	1.08	Wall
0.08	0.01	0.02	MB roof
45.02	4.30	1.33	MB wake
10.47	1.00	1.00	Roof-Reference Ro
1.44	0.14	1.28	Roof
0.6800	0.06	8.86	Roof corner
4.9	0.47	0.42	Balc1 floor
-	-	-	-
2.09	0.20	0.51	Balc2 floor
-	-	-	Balc1 cornice
-	-	-	Balc1 cornice
-	-	-	Cornice
-	-	-	Cornice

Figure 2c
Close-up view of the building under construction

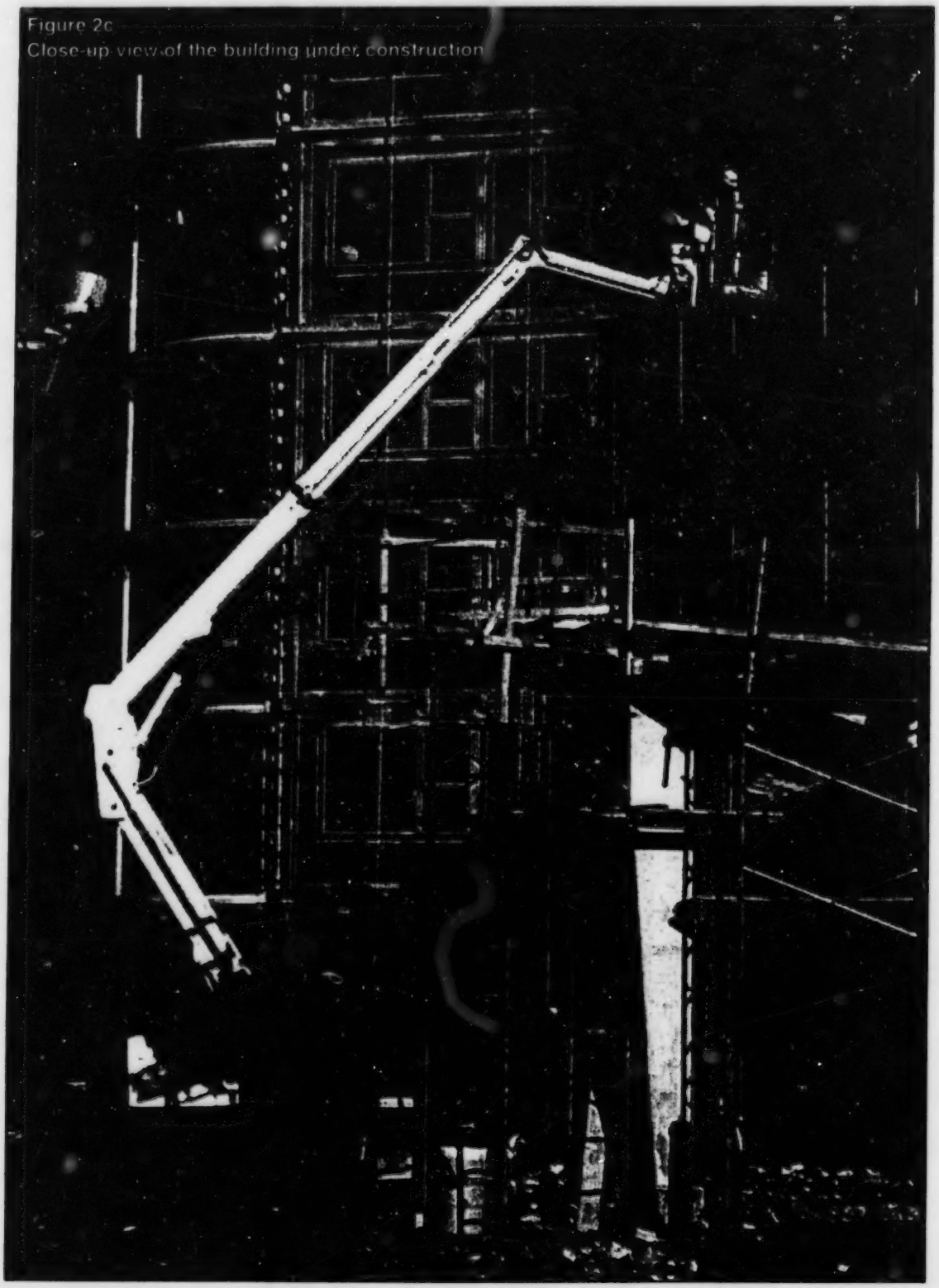


Figure 3
Local intensity factors (LIF) for building zones without cornice

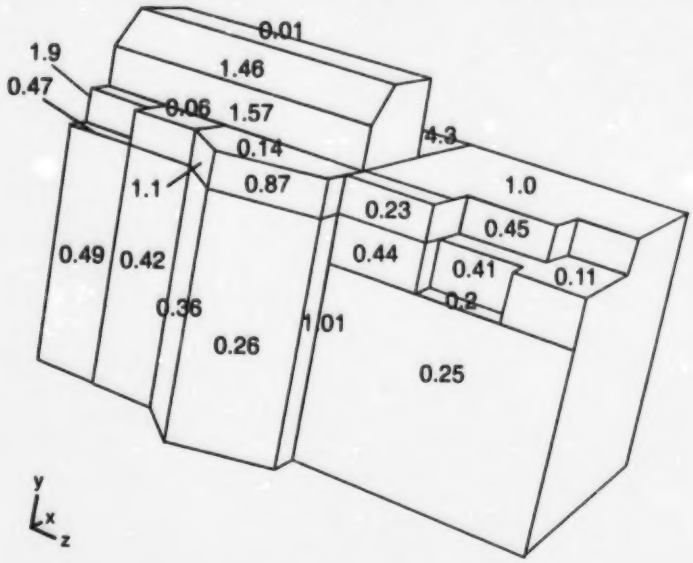


Figure 4
Cornice effectiveness factors

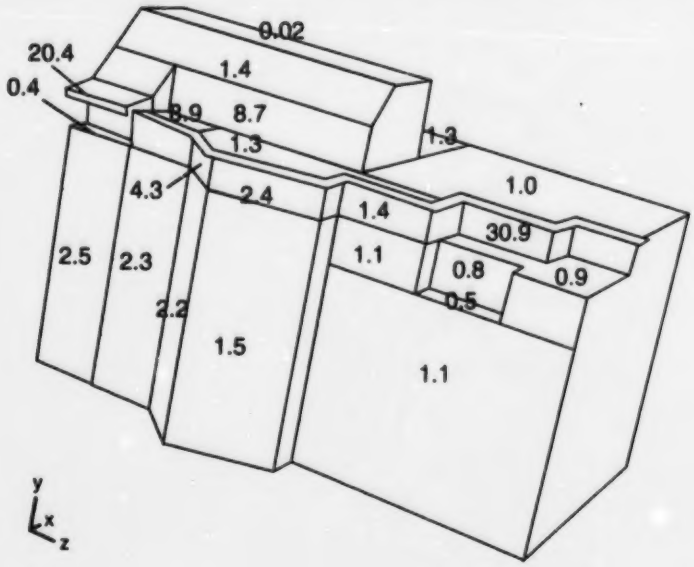
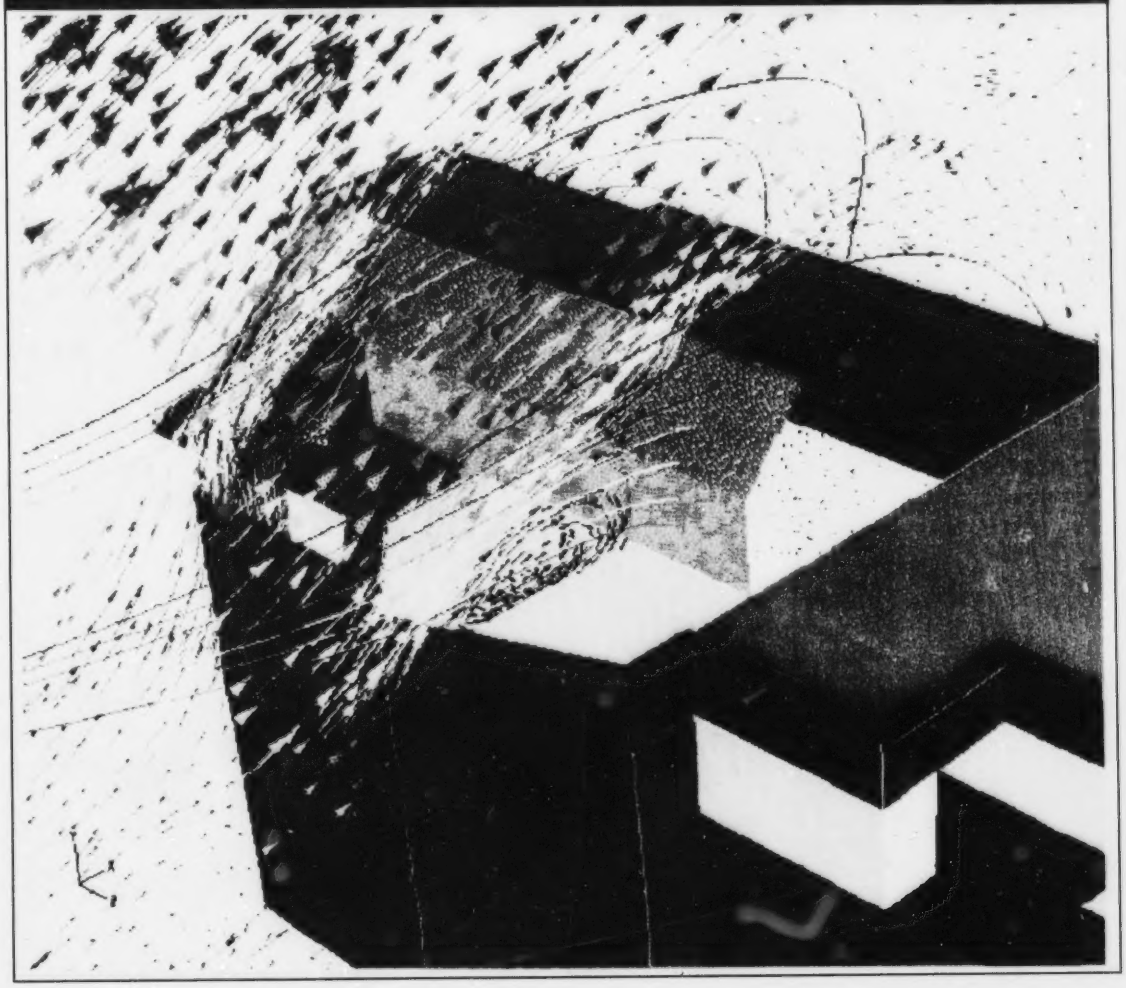


Figure 5
Detail of the wind flow (arrows) and typical raindrop trajectories (continuous lines)



RAPPORT DE RECHERCHE

ÉTUDE DE LA PLUIE POUSSÉE PAR LE VENT PORTANT SUR L'ENSEMBLE RÉSIDENTIEL DE GOVERNOR'S ROAD, DUNDAS (ONTARIO)

SÉRIE SUR LES TECHNOLOGIES DU BÂTIMENT

SCHL CMHC

AU COEUR DE L'HABITATION

Canada

SCHL—Au cœur de l'habitation

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) est au cœur de l'habitation. Toutes ses activités visent à aider les Canadiens et les Canadiennes à vivre dans un logement sûr à tout point de vue.

À titre d'organisme national responsable du logement, la SCHL joue un rôle important dans le secteur canadien de l'habitation. Elle propose de nouvelles façons de financer l'achat des maisons. Elle favorise l'innovation dans le domaine de la technologie et de la conception des habitations. Grâce à son assurance prêt hypothécaire, elle aide les Canadiens et les Canadiennes à réaliser leur rêve et à posséder leur propre maison.

Les Canadiens et les Canadiennes tirent avantage de la collaboration de la SCHL avec ses partenaires des secteurs public, privé et sans but lucratif en vue d'améliorer la qualité et l'accessibilité des logements et de faire en sorte qu'ils soient plus abordables, partout au pays.

L'aide accordée par la SCHL permet aux ménages à faible revenu, aux aînés, aux personnes handicapées et aux Autochtones de vivre dans des logements convenables et abordables. La SCHL crée des emplois pour les Canadiens et les Canadiennes dans le domaine des produits et services en aidant le secteur de l'habitation à exporter ses connaissances et ses compétences dans d'autres pays.

Les recherches de pointe effectuées par la SCHL améliorent la qualité des logements et font en sorte que ceux-ci soient plus abordables. Afin d'aider les Canadiens et les Canadiennes à tirer profit de son savoir-faire dans le domaine de l'habitation et à prendre des décisions éclairées, la SCHL est devenue le plus important éditeur canadien de publications portant sur le logement. Elle possède également la collection la plus complète de documents sur l'habitat.

Les Canadiens et les Canadiennes peuvent avoir facilement accès à nos informations par l'entremise des points de vente et des bureaux régionaux de la SCHL.

Vous pouvez aussi communiquer avec nous par téléphone :
1 800 668-2642 [à l'extérieur du Canada : (613) 748-2003]
ou par télécopieur : (613) 748-4069.
Pour nous joindre en direct, visitez notre page d'accueil à l'adresse suivante : « www.cmhc-schl.gc.ca »

La Société canadienne d'hypothèques et de logement appuie la politique du gouvernement fédéral sur l'accès à l'information pour les personnes handicapées. Si vous désirez obtenir la présente publication en des médias substituts, composez le 1 800 668-2642.

Étude de la pluie poussée par le vent portant sur l'ensemble résidentiel de Governor's Road,
DUNDAS (ONTARIO)

Par :

H. Hangan
et
D. Surry

Pour :

La Société canadienne d'hypothèques et de logement

La SCHL offre de nombreux renseignements relatifs à l'habitation. Pour plus d'information, veuillez composer le 1 800 668-2642 ou visitez notre site Web : www.cmhc-schl.gc.ca

Cette recherche a été financée par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL). La qualité rédactionnelle de ce rapport, son contenu et les opinions qui y sont émises sont de l'auteur (des auteurs). La SCHL ne saurait en assumer la responsabilité et se dégage de toute obligation relativement aux conséquences résultant de l'utilisation que le lecteur pourrait faire des renseignements, des matériaux ou des techniques qui y sont décrits.

Données de catalogage avant publication (Canada)

Hangan, H. (Horia), 1960-

Étude de la pluie poussée par le vent portant sur l'ensemble résidentiel de Governor's Road, Dundas (Ontario)

Publ. aussi en anglais sous le titre : Wind-driven Rain Study for the Governor's Road Project, Dundas, Ontario.

Comprend des références bibliographiques

ISBN 0-660-96319-1
No. de cat. NH15-352/2000F

1. Constructions, Effets des agents atmosphériques sur le – Ontario – Dundas.
2. Constructions – Protection – Ontario – Dundas.
I. Surry, D.
II. Société canadienne d'hypothèques et de logement.
III. Titre.

TH 9039.H36 2000 690'.24 C00-980093-X

© 2000, Société canadienne d'hypothèques et de logement. Tous droits réservés. La reproduction, le stockage ou la transmission d'un extrait quelconque de cet ouvrage, par quelque procédé que ce soit, tant électronique que mécanique, par photocopie ou par microfilm, sont interdits sans l'autorisation préalable écrite de la Société canadienne d'hypothèques et de logement. Tous droits de traduction et d'adaptation réservés pour tous les pays. La traduction d'un extrait quelconque de cet ouvrage est interdite sans l'autorisation préalable écrite de la Société canadienne d'hypothèques et de logement.

Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL

REMERCIEMENTS

La présente étude consacrée aux effets du vent sur l'ensemble résidentiel de Governor's Road a été lancée par M^me^ Sandra Marshall de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), en collaboration avec les professeurs D. Surry et H. Hangan de notre laboratoire. La coopération et l'intérêt soutenu de M. G. Sather, de McCallum & Sather Architects Inc., ont été très appréciés.

Nous remercions aussi M. Brian Van Bussel, qui a construit le modèle AutoCAD.

TABLE DES MATIÈRES ET TABLEAUX

SOMMAIRE ET PRINCIPALES CONCLUSIONS 1

DÉTAILS DE L'ÉTUDE 2

1. LES CONDITIONS DE VENT ET DE PLUIE À HAMILTON 3

2. GÉOMÉTRIE, TOPOLOGIE ET CRÉATION D'UN MAILLAGE 4

3. CONDITIONS LIMITES 5

4. MODÉLISATION DU VENT ET DE LA PLUIE 6

Approche globale 6

Mouvement du vent autour des bâtiments 6

Pluie poussée par le vent 6

5. ESTIMATION DU MOUILLAGE SUR LA FAÇADE DU BÂTIMENT 7

Approche globale 7

Profils de mouillage sans corniche 7

Efficacité de la corniche 7

RÉFÉRENCES 8

Tableau 1 : Taux de précipitations (Rj) et facteurs d'intensité locale (LIF) avec et sans corniche 9

LISTE DES FIGURES

Figure 1a : Modèle AutoCAD tridimensionnel 2

Figure 2a : Force et direction du vent et des précipitations pour toutes les heures et les heures de pluie, London 3

Figure 2b : Force et direction du vent et des précipitations pour toutes les heures et les heures de pluie, Ottawa 3

Figure 1b : Topologie de la CFD et zones murales 4

Figure 1c : Détail du réseau non structuré pour les zones adjacentes à la corniche 5

Figure 2c : Gros plan du bâtiment en construction 10

Figure 3 : Facteurs d'intensité locale (LIF) pour les zones du bâtiment sans corniche 11

Figure 4 : Facteurs d'efficacité de la corniche 11

Figure 5 : Détail du mouvement du vent (flèches) et des trajectoires types des gouttes de pluie (lignes continues) 12

SOMMAIRE ET PRINCIPALES CONCLUSIONS

Le présent rapport d'étude, consacré à l'effet de la pluie poussée par le vent sur l'ensemble résidentiel de Governor's Road, à Hamilton (Ontario), donne les renseignements suivants :

- les profils de mouillage pour l'ensemble résidentiel de Governor's Road, sans la protection d'une corniche;
- les profils de mouillage pour l'ensemble résidentiel de Governor's Road, avec la protection d'une corniche;
- une évaluation de l'efficacité de la corniche.

Un modèle numérique tridimensionnel de la géométrie du bâtiment ainsi que les conditions de vent et de pluie ont été conçus au moyen d'un logiciel commercial sur la dynamique des fluides, FLUENT 4.3 (Users Guide, 1996). Le modèle a fait l'objet d'un test numérique dans des conditions de turbulences atmosphériques à couche limite, pour une direction dominante du vent. La figure 1a montre la géométrie du modèle tridimensionnel produit par AutoCAD.

Une distribution théorique des probabilités relatives à la vitesse et à la direction du vent du gradient, ainsi que de l'intensité des précipitations, avait déjà été élaborée pour deux régions en Ontario (Ottawa et London) en fonction de relevés météorologiques complets. Ces données ont servi à établir la direction et l'intensité dominantes du vent, ainsi que les conditions de précipitations, autour de l'ensemble résidentiel de Governor's Road. Le mouvement du vent autour du bâtiment a fait l'objet d'une simulation numérique (par dynamique des fluides computationnelle ou CFD), puis on a calculé les trajectoires des gouttes de pluie et leur impact contre la façade du bâtiment. Le mouvement de la pluie au contact de l'enveloppe du bâtiment a été déterminé pour différentes zones de la façade principale, et les profils de mouillage ont été établis pour deux situations : avec et sans corniche. On a comparé les résultats de mouillage dans les deux cas et évalué l'efficacité de la corniche.

Voici les faits saillants et les principales conclusions de l'étude :

Conditions climatiques (vent)

- Les caractéristiques directionnelles associées au modèle de conditions de vent et de pluie sont indiquées aux figures 2a et 2b pour les emplacements d'Ottawa et de London, respectivement. On peut voir que les directions sud et est sont les plus importantes en ce qui concerne la pluie poussée par le vent. La direction sud est perpendiculaire à la façade principale de l'ensemble de Governor's Road et, par conséquent, fait l'objet de la principale étude de cas.

- En se basant sur les mêmes caractéristiques de vent et de pluie pour Ottawa et London, on a déterminé approximativement les conditions d'une période de retour de 10 ans, dans le secteur de l'ensemble résidentiel de Governor's Road : une vitesse horaire moyenne du vent établie à 10,4 m/s à une hauteur de 10 m, ainsi qu'une intensité des précipitations de 11 mm/h.

Profils de mouillage

- Les profils de mouillage de la façade du bâtiment ont été prédits et sont exprimés sous forme de facteurs d'intensité locale (LIF):

$$LIF_j = \frac{Ri}{Ro} = \frac{\text{taux de précipitations [mm/h] à travers une zone de façade « j »}}{\text{taux de précipitations sans perturbation [mm/h]}}$$

La figure 3 présente les facteurs d'intensité locale (LIF) sans corniche.

- Les deux cas (avec et sans corniche) sont comparés à la figure 4 où les facteurs d'efficacité de la corniche (Fj) sont définis comme suit :

$$Fj = \frac{LIFj \text{ (sans corniche)}}{LIFj \text{ (avec corniche)}}$$

- Un sommaire des profils de mouillage prédits, avec et sans corniche, figure au tableau 1.

DÉTAILS DE L'ÉTUDE

Nom de l'ensemble : Governor's Road

Emplacement de l'ensemble : Hamilton (Ontario), Canada

Dimensions de l'ensemble : Petit bâtiment symétrique

Dates de simulation : Février 1998

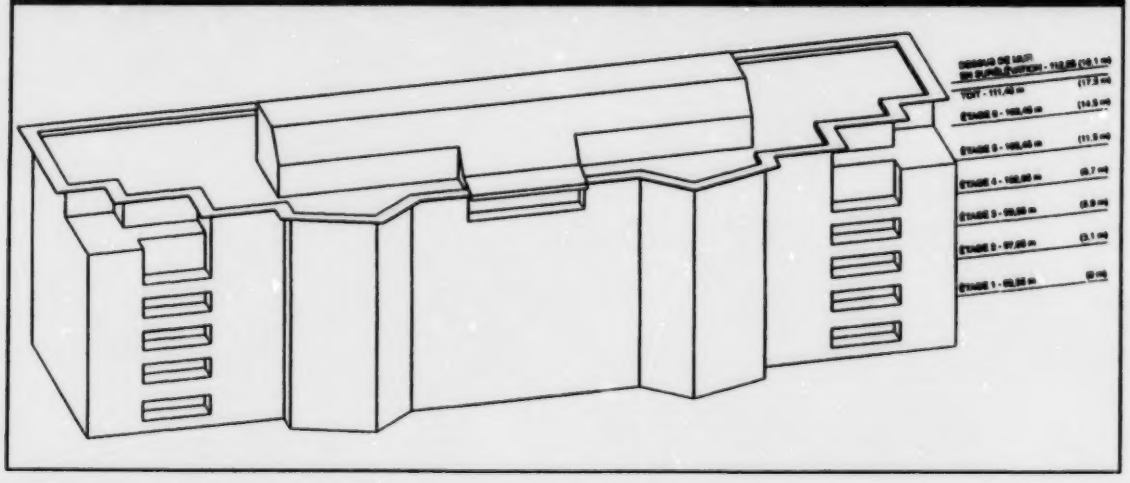
Rapport préliminaire : Le 5 mars 1998

Envergure et format du rapport : Les résultats présentés dans ce rapport se fondent sur des études parallèles sur :

- les conditions de vent réelles, pour déterminer la force et la direction du vent et l'intensité des précipitations non perturbées; et
- les simulations par dynamique des fluides computationnelle (CFD) pour déterminer les données aérodynamiques et les trajectoires des gouttes de pluie relatives à cet ensemble.

La combinaison de ces deux études donne des prédictions sur le mouillage par la pluie de la façade du bâtiment.

Figure 1a
Modele AutoCAD tridimensionnel



1. LES CONDITIONS DE VENT ET DE PLUIE À HAMILTON

- Le modèle commun des conditions de vent et de pluie pour l'ensemble résidentiel de Governor's Road, à Hamilton, a été élaboré à partir d'études antérieures (Skerlj et coll., 1995) pour deux emplacements en Ontario : London et Ottawa (voir les figures 2a et 2b).

- Les données climatiques des deux régions sont bien corrélées et indiquent la prédominance du vent et de la pluie à partir de deux grandes directions : le sud et l'est. Étant donné l'orientation de l'ensemble résidentiel de Governor's Road, on a considéré la direction sud du vent et de la pluie, qui est perpendiculaire à la façade principale du bâtiment, comme pertinente et on l'a employée dans la présente étude.

- Selon les mêmes études antérieures (Skerlj et coll., 1995), la vitesse horaire moyenne du vent à une hauteur de 10 m, pour une intensité de précipitations non perturbées de R_O = 11 mm/h, était de 10,4 m/s. La vitesse du vent et l'intensité des précipitations correspondent à une période de retour de 10 ans.

- On a présumé le cas d'une exposition en banlieue correspondant à un coefficient de loi de puissance a = 0,22, ainsi qu'une intensité constante de turbulence du vent à une hauteur de moins de 50 m : I_u= 17 %.

Figure 2a
Force et direction du vent et des précipitations pour toutes les heures et les heures de pluie. London

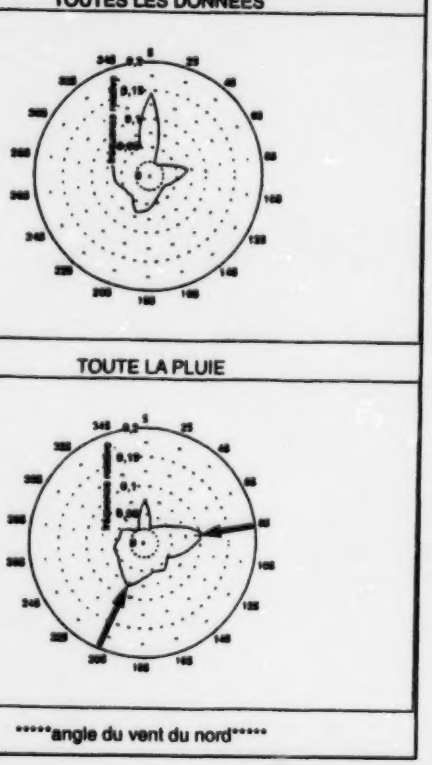
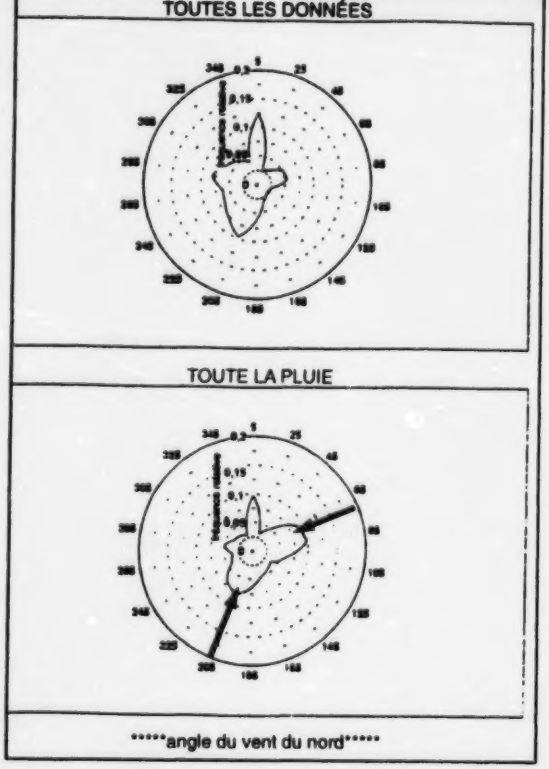


Figure 2b
Force et direction du vent et des précipitations pour toutes les heures et les heures de pluie. Ottawa



2. GÉOMÉTRIE, TOPOLOGIE ET CRÉATION D'UN MAILLAGE

Géométrie

- La géométrie tridimensionnelle a été produite en AutoCAD 13, à partir des dessins d'architecture. On a simplifié la géométrie architecturale en éliminant tous les détails architecturaux ayant peu de signification aérodynamique.

- La géométrie du bâtiment, produite par AutoCAD, est indiquée à la figure 1a.

Topologie et maillage

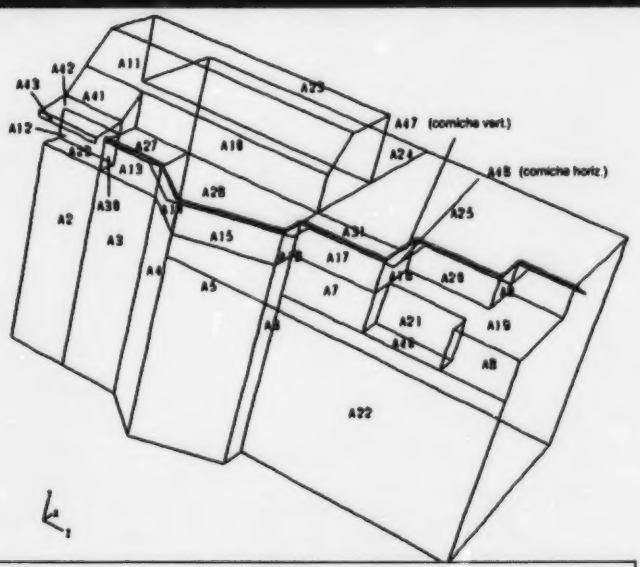
- La géométrie du bâtiment a été divisée en surfaces topologiques (zones murales), qui ont ensuite servi à déterminer la quantité d'eau frappant le bâtiment. Chaque surface (zone) « j » a une aire Aj.

- Les zones murales sont indiquées à la figure 1b pour la moitié du bâtiment. Étant donné que celui-ci présente un axe symétrique, seule la moitié de la géométrie a été employée pour les simulations numériques.

- La topologie et la production d'une grille numérique soulignent toutes deux la surface adjacente à la zone de la corniche (la partie supérieure de la façade du bâtiment). La corniche proprement dite est formée de deux parties principales : la marquise au-dessus du balcon 1 (côté gauche de la figure 1b) et le reste de la corniche tout le long de la façade du bâtiment.

- On a employé une grille tétraédrique non structurée comptant environ 80 000 cellules (avant le perfectionnement) et une asymétrie moyenne de 0,3. La figure 1c présente un détail de la grille non structurée pour la surface adjacente à la zone de la corniche.

Figure 1b
Topologie de la CFD et zones murales



Modèle

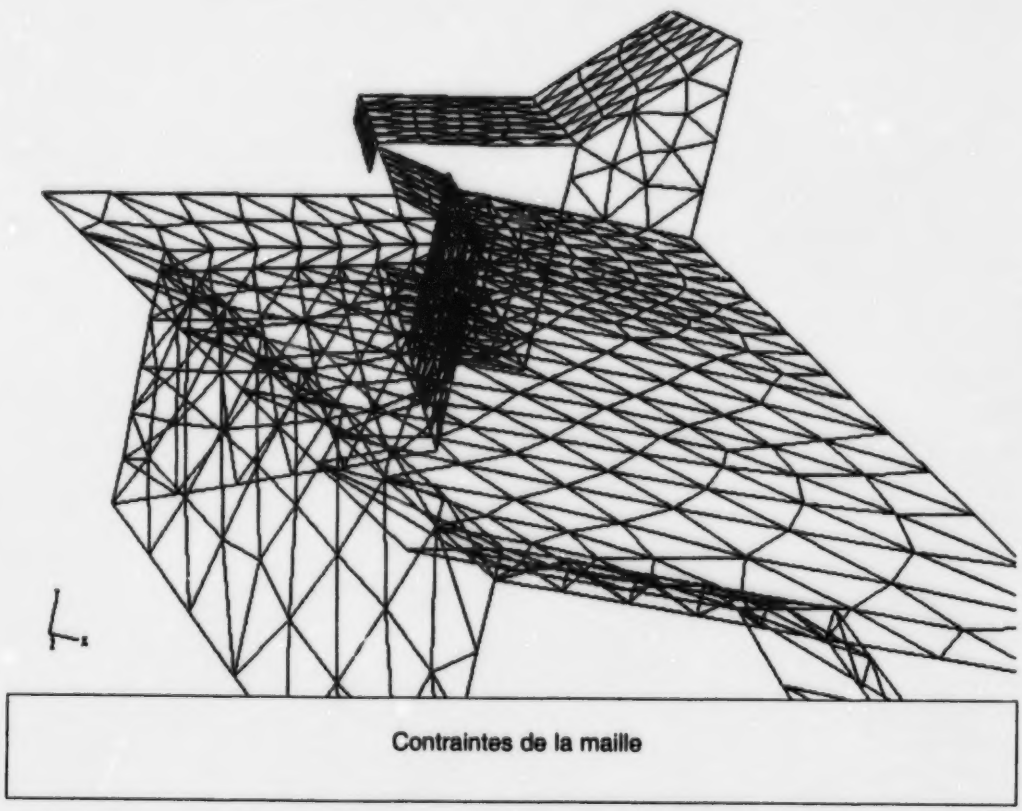
3. CONDITIONS LIMITES

- Les conditions limites de la vitesse à l'entrée constituent les conditions en amont. Un profil de vitesse par loi de puissance ($a = 0{,}22$), une vitesse à 10 m de hauteur de 10,4 m/s et une intensité de turbulence moyenne de 17 % ont été adoptés en fonction d'études antérieures (Skerlj et coll., 1995) et de l'exposition de l'ensemble résidentiel de Governor's Road.

- On a utilisé les conditions limites du mur pour le sol et pour diverses zones de l'enveloppe du bâtiment.

- On a utilisé les conditions limites de la pression à la sortie comme débit externe, et adopté les conditions limites de symétrie pour le plan symétrique du bâtiment et du domaine computationnel, parallèlement à la direction du vent.

Figure 1c
Détail de la grille non structurée pour les zones adjacentes à la corniche



4. MODÉLISATION DU VENT ET DE LA PLUIE

Approche globale

- La base de la méthode computationnelle est le progiciel commercial de CFD FLUENT, auquel on ajoute des modèles appropriés de pluie, en se basant sur les données figurant dans la documentation. Les modèles physiques des effets de la pluie et du vent sur les bâtiments ont été précédemment élaborés au laboratoire de la soufflerie à couche limite (BLWTL) (Inculet et Surry, 1995; Hangan, 1998), et les expériences en soufflerie forment la base de la vérification.

- Le problème de modélisation consiste à calculer les trajectoires des gouttes de pluie en présence d'un mouvement d'air autour du bâtiment. Il s'agit d'une approche lagrangienne et elle sous-entend des hypothèses comme une faible proportion d'eau dans l'air (<10 %) et une interaction négligeable entre les particules.

Mouvement du vent autour des bâtiments

- On résout le problème du champ de courant au moyen des équations de Navier-Stokes (N-S) et de continuité :

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i u_j) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\nu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \text{ (N-S);}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \text{ (continuité)} \qquad (1)$$

Un modèle de turbulence $k-\varepsilon$ et à tension de Reynolds et des fonctions murales sont employés pour le flux eulérien (phase fluide).

En général, les simulations, tant expérimentales que par la CFD, montrent les profils typiques de mouvement du vent autour des bâtiments, comme le tourbillon frontal de base, la séparation, le rattachement et le décollement de tourbillon. Les particules (surtout les légères) ont tendance à suivre les lignes de flux. La figure 5 présente un détail du mouvement du vent (flèches) et les trajectoires typiques des gouttes de pluie pour la zone de la corniche de l'ensemble résidentiel de Governor's Road.

Pluie poussée par le vent

- Les gouttes de pluie sont considérées comme sphériques, de diamètre d et de masse volumique Pp. Leur vitesse terminale est exprimée selon l'équilibre entre la gravité et la traînée aérodynamique (formule de Stokes) sur la particule (2). La distribution de la taille des particules peut s'exprimer par un modèle gaussien (3).

$$V_T = \frac{d^2}{18\nu}\left(\frac{Pp-P}{P}\right)g \qquad (2)$$

où ^{P} et $^{\nu}$ sont la densité de l'air et la viscosité cinématique.

$$M_d = \exp\left[-\left(\frac{d}{\bar{d}}\right)^n\right]$$

= la fraction de masse des gouttelettes plus grandes que d où : (3)

$\bar{d} = bR_o^{\,p}$ est un diamètre moyen, n est le paramètre de dispersion (n = 2,25 pour les gouttes de pluie) et $R_o[\frac{mm}{h}]$ est l'intensité des précipitations non perturbées.

Les trajectoires des gouttes de pluie sont déterminées selon un équilibrage des forces (référence au modèle lagrangien) entre la traînée aérodynamique (F_D) et la force de gravitation exercée sur la particule (Hangan, 1998).

$$\rho_p \frac{\partial u_p}{\partial t} = F_D(u_i - u_p) + g(\rho_p - \rho) \qquad (4)$$

où u_i et u_p sont les vitesses de l'air et des particules, $F_D = \frac{18\nu\rho}{d_p^2} * \frac{C_D * Re}{24}$ est la traînée aérodynamique (loi de Stokes), $Re = \frac{dp}{\nu}\sqrt{\Sigma(u_i - u_p)^2}$ est le nombre de Reynolds (lagrangien) de la particule, et $C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re} + \frac{a_3}{Re^2}$ est le coefficient de traînée (loi de Morsi-Alexander).

- On a tenu compte de la dispersion turbulente des gouttelettes pour les simulations par CFD.

5. ESTIMATION DU MOUILLAGE SUR LA FAÇADE DU BÂTIMENT

Approche globale

- Les gouttelettes sont « emprisonnées » dans la zone du bâtiment. On calcule les trajectoires pour toutes les tailles des gouttelettes, puis le débit massique des particules traversant la façade (ϕ_j) et l'intensité des précipitations sur chaque zone (de la surface A_j) : $R_j = \frac{3600*\phi_j}{A_j}\ [\frac{mm}{h}]$.

- On évalue ensuite les facteurs d'intensité locale (LIF) en reliant l'intensité des précipitations sur chaque zone de bâtiment à l'intensité des précipitations non perturbées : $LIFj = \frac{Ri}{Ro}$.

- Les résultats sont analysés pour les deux cas, avec ou sans corniche, sur le plan des facteurs d'intensité locale (LIF).

Profils de mouillage sans corniche

- Les LIF montrent que les aires susceptibles d'être touchées sans la corniche (LIF>1, figure 3) sont dans le prolongement du local technique hors toit (LIF = 4,3), les murs avant et inclinés du même bloc mécanique (LIF = 1,6 et 1,5 respectivement), le mur arrière du balcon 1 (côté gauche, LIF = 1,9) et la zone de la partie supérieure du mur (immédiatement en dessous de la corniche, LIF = 1,1).

Efficacité de la corniche

- Les facteurs d'efficacité de la corniche (Fj) sont définis sous forme de rapports (pour chaque zone « j ») entre les LIF sans et avec corniche : $Fj = \frac{(LIFj)\ \text{sans corniche}}{(LIFj)\ \text{avec corniche}}$. Ces facteurs sont utiles pour déterminer l'effet de la corniche dans chaque zone : pour $Fj>1$, la corniche réduit le taux de précipitations sur cette aire spécifique, et pour $Fj<1$, la corniche augmente ce taux.

- Ces facteurs doivent être examinés en même temps que les facteurs LIF, car les augmentations ou réductions sont les plus importantes quand les valeurs des LIF sont élevées. On a observé que la corniche a un effet positif (réduction du taux de précipitations) pour la grande majorité des zones du bâtiment. Voir la figure 4.

- On s'attend à des facteurs de réduction situés entre 1,1 et 2,5 pour les principales zones murales. Les zones supérieures, situées immédiatement sous la corniche, sont bien protégées (facteurs Fj situés entre 1,4 et 4,3). Le mur arrière correspondant au balcon 1 (sous la marquise, Fj = 20,4) et la terrasse (côté droit, Fj = 30,9) sont aussi bien protégés par la corniche.

- Les seules augmentations des taux de précipitations attribuables à la corniche se produisent pour le mur arrière du balcon 2 (côté droit, sous la terrasse, Fj = 0,5 et Fj = 0,8), le local technique hors toit et le plancher du balcon 1 (sous la marquise, Fj = 0,4).

- Les valeurs LIF correspondantes montrent que la seule zone susceptible d'être touchée par des effets négatifs (LIF>1) de la corniche est le plancher du balcon 1 pour lequel LIF = 1,11. Toutefois, cette valeur est jugée acceptable dans le contexte de l'effet positif global de la corniche.

- On souligne qu'une augmentation de 10 % du coefficient LIF n'est pas significative et est inférieure à l'erreur quantitative globale enchâssée dans l'ensemble du processus de simulation.

RÉFÉRENCES

FLUENT Inc. (1996), *Users Guide*.

HANGAN H. (1998), « *CFD versus Experiment for Wind-Driven Rain Impact on Buildings* », compte rendu de la 12e conférence de l'ASCE sur la mécanique technique, LaJolla, Californie.

INCULET, D. ET D. SURRY (1995), « *Simulation de la pluie battante et de la distribution du mouillage sur les bâtiments* », rapport final, BLWTL — SCHL.

SKERLJ, P.F., D. SURRY ET M. MIKITIUK (1995), « *An exploratory study of the climatic relationship between rain and wind* », mars.

Tableau 1
Taux de precipitations (Rj) et facteurs d'intensité locale (LIF) avec et sans corniche

GOV5NEW – Avec corniche

Ro=13,9 mm/h. U10=10,35 m/sec

Rj (mm/h)	FILj [-]	Aj [m^2]	Zone Fig. 1
2,72	*0,19*	72,43	A2
2,56	*0,18*	70,76	A3
2,26	*0,16*	75,50	A4
2,50	*0,18*	104,91	A5
5,86	*0,42*	17,58	A7
10,38	*0,74*	13,28	A8
2,53	*0,18*	38,65	A10
15,02	*1,07*	63,03	A11
1,30	*0,09*	10,38	A12
3,55	*0,25*	10,68	A14
5,14	*0,37*	15,25	A15
2,39	*0,17*	13,63	A17
0,29	*0,02*	18,53	A18
1,71	*0,12*	45,83	A19
0,2	*0,01*	13,20	A20
7,61	*0,54*	16,33	A21
3,22	*0,23*	198,90	A22
5,12	*0,37*	95,85	A23
45,13	*3,23*	172,12	A24
13,99	*1,00*	**225,77**	**A25**
1,52	*0,11*	53,21	A26
0,1	*0,01*	52,67	A27
15,56	*1,11*	7,49	A29
0,39	*0,03*	13,83	A31
5,44	*0,39*	9,94	A40
13,79	*0,99*	11,79	A41
11,44	*0,82*	1,89	A43
0,19	0,01	42,89	A46
1,29	*0,09*	8,34	A47
1,83	*0,13*	42,89	A61

GOV5 – Sans corniche

Ro=11 mm/h. U10=10,35 m/sec

Rj [mm/h]	FILJ [-]	Fj [-]	Obs.
5,15	*0,49*	2,53	Mur
4,43	*0,42*	2,31	Mur
3,72	*0,36*	2,20	Mur
2,74	*0,26*	1,46	Mur
4,59	*0,44*	1,05	Mur de corniche (bas)
10,59	*1,01*	1,36	Mur de corniche (bas)
16,49	*1,57*	8,73	Avant BM
15,26	*1,46*	1,36	Mur incliné BM
19,87	*1,90*	20,42	Balc. 1 arrière
11,49	*1,10*	4,32	Mur corniche
9,08	*0,87*	2,36	Mur corniche
2,45	*0,23*	1,37	Mur corniche
-	-	-	-
1,14	*0,11*	0,89	Terrasse
4,73	*0,45*	30,91	Terrasse arrière
4,32	*0,41*	0,76	Balc. 2 arrière
2,61	*0,25*	1,08	Mur
0,08	*0,01*	0,02	Toiture BM
45,02	*4,30*	1,33	Environs BM
10,47	*1,00*	1,00	**Toit – référence Ro**
1,44	*0,14*	1,26	Toit
0,68	*0,06*	8,86	Angle toit
4,90	*0,47*	0,42	Balc. 1 plancher
-	-	-	-
2,09	*0,20*	0,51	Balc. 2 plancher
-	-	-	Corniche balc. 1
-	-	-	Corniche balc. 1
-	-	-	Corniche
-	-	-	Corniche

Figure 2c
Gros plan du batiment en construction

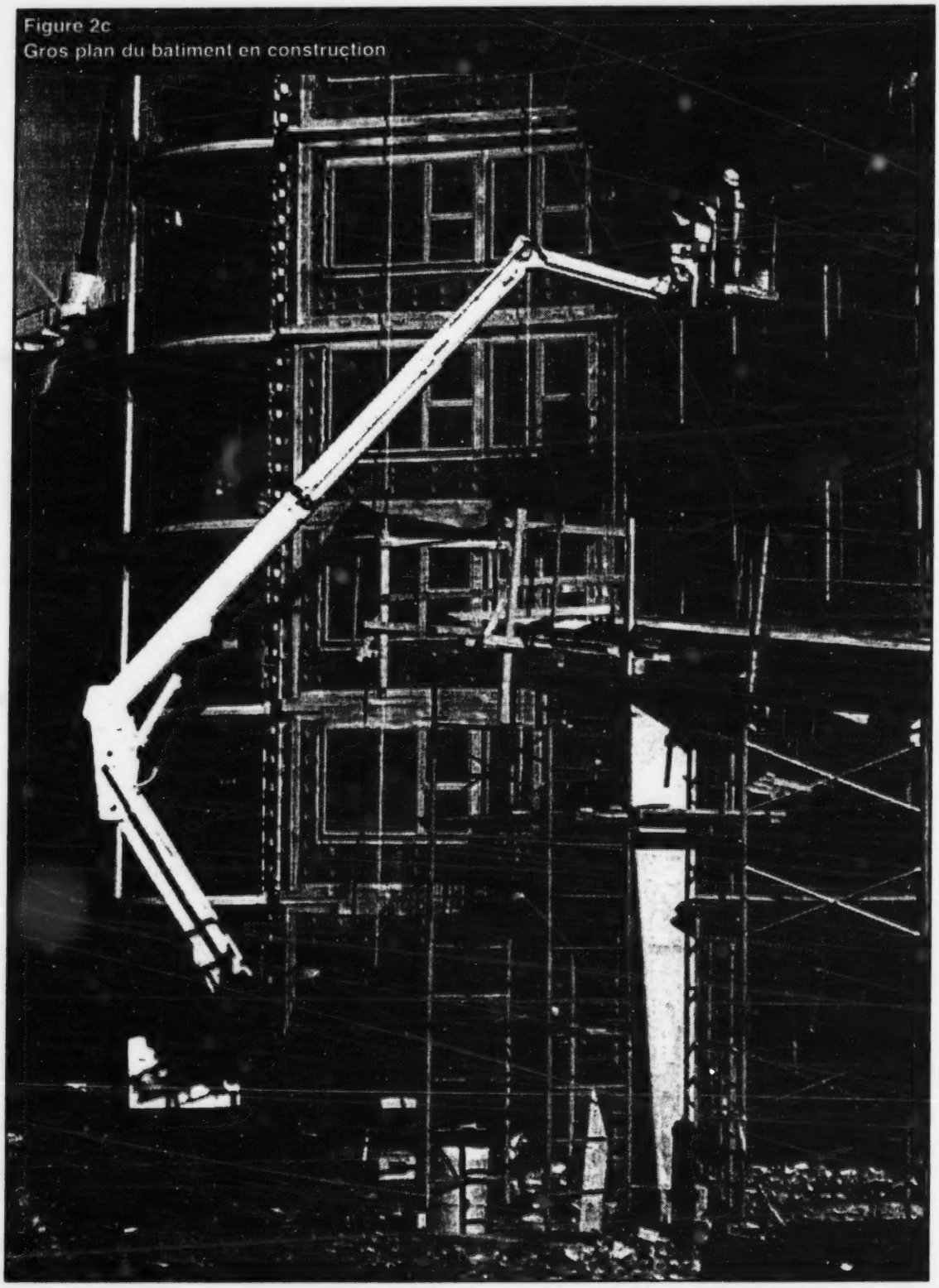


Figure 3
Facteurs d'intensité locale (LIF) pour les zones du bâtiment sans corniche

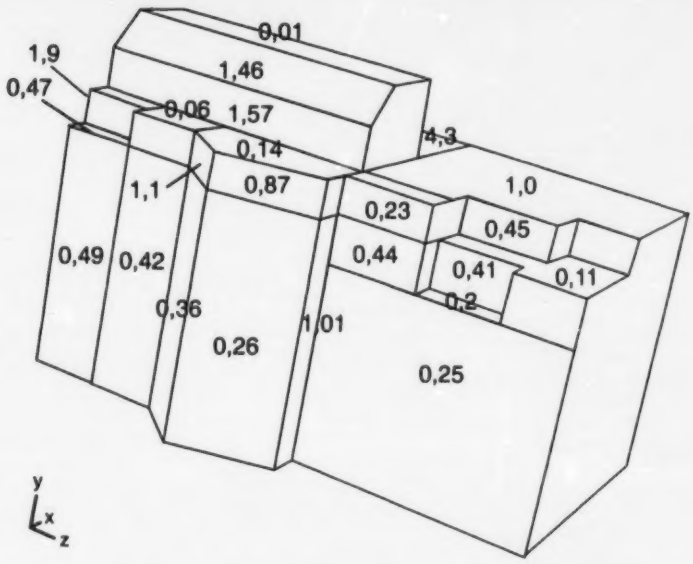


Figure 4
Facteurs d'efficacité de la corniche

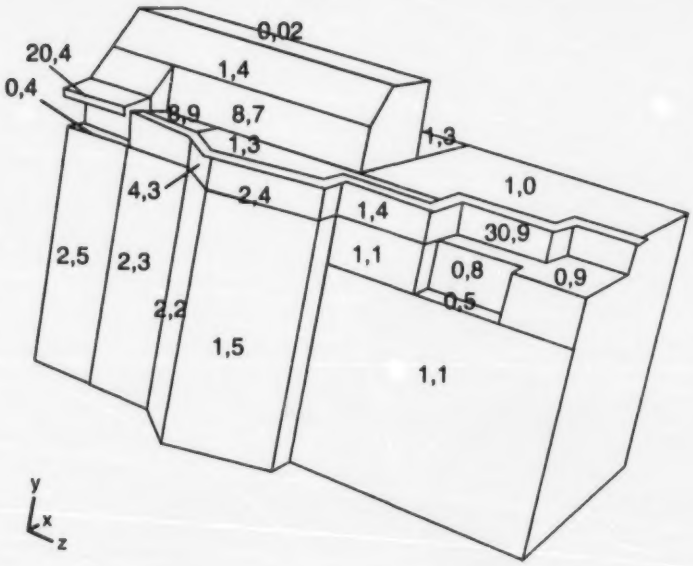
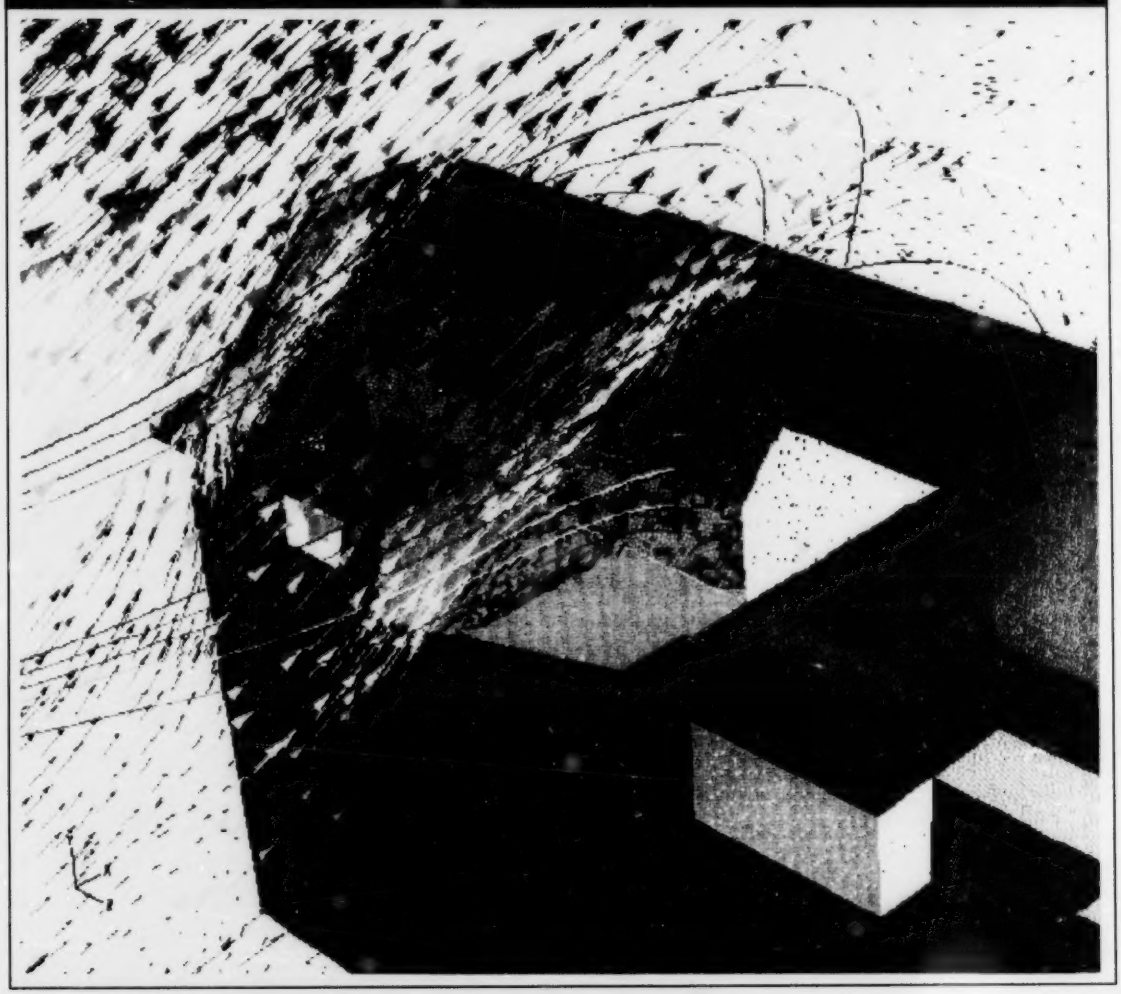



Figure 5
Détail du mouvement du vent (flèches) et des trajectoires types des gouttes de pluie (lignes continues)